

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikka ja ympäristötekniikka  
Ilari Rautanen

Opinnäytetyö

## **Rakennuslaboratorion pienhiukkaset**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 11/2009

TkT Jarmo Lilja  
TAMK Ilmanlaatu -projekti

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikka ja ympäristötekniikka

Tekijä	Rautanen, Ilari
Opinnäytetyön nimi	Rakennuslaboratorion pienhiukkaset
Sivumäärä	48 sivua + 8 liitesivua
Työn valmistumisaika	11/2009
Työn ohjaaja	TkT Jarmo Lilja
Työn tilaaja	TAMK Ilmanlaatu –projekti

---

## TIIVISTELMÄ

Työ on tehty 2010 alkavan TAMK Ilmanlaatu -projektin esiselvitystyönä. Työssä mitattiin TAMKin Rakentamisen osaamiskeskuksen nykyisten G-siiven rakennuslaboratorioiden ilman pienhiukkasmäärää. Mittaukset suoritettiin kiviaineslaboratoriossa ja betonilaboratoriossa olleiden oppituntien aikana.

Mittauksissa käytettiin kahta valon optiseen sirontaan perustuvaa eloktronista pienhiukkasmittalaitetta. ARTI-mittalaite on hiukkasten lukumääräpitoisuutta tilavuutta kohti mittaava laite ja DustTrak-mittalaite on hiukkasten massakonsentraatiota mittaava laite.

Saatuja mittaustuloksia verrattiin viranomaisten antamiin suosituksiin ja määräyksiin sisäilman pienhiukkasten arvoista. Tuloksissa oli havaittavissa, että hiukkasmäärät eivät pysyneet oppituntien aikana suositusrajoissa. Myöskin pieniä alle 2,5 µm halkaisijaltaan olevia hiukkasia oli paljon. Tälle kokoluokalle ei ole olemassa suoritusrajaa, mutta monien tutkimusten mukaan ne ovat erittäin haitallisia ihmisten terveydelle.

Työssä annettiin lopuksi ehdotuksia, millä keinoin hiukkasmääriä voisi vähentää tulevissa uusissa rakennuslaboratorion tiloissa. Tärkeimpinä näistä tuli esiin kohdeilmanpoiston ja työtapojen kehittäminen. On myös tärkeää muistaa jokaisen henkilökohtainen työhygieniä.

Uusien rakennuslaboratorion tilojen valmistuttua I-siivessä niissä tullaan suorittamaan vertailumittaukset projektin toimeksiantona.

---

Avainsanat	pienhiukkaset, rakennuslaboratorio, ilmanlaatu, sisäilma, ilmastointi
------------	---

TAMK University of Applied Sciences  
Chemical Engineering Degree Program  
Chemical Engineering and Environmental Engineering

Writer	Rautanen, Ilari
Thesis	Fineparticles in the construction laboratory
Pages	48 pages, 8 pages appendices
Graduation time	11/2009
Thesis Supervisor	Jarmo Lilja (PhD)
Made for	TAMK Ilmanlaatu project

---

## ABSTRACT

This thesis was made as a preliminary survey for the TAMK Air Quality project that starts officially in 2010. Fine particle measurements in this thesis were made in the TAMK construction laboratory of the Construction Technology Expertise Centre situated in the present I-wing. Measurements were done during lessons.

They were taken by using two laser photometers which take measurements simultaneously. ARTI measures the size fraction and DustTrak measures the mass fraction.

The results were then compared with the regulations and recommendation limits of airborne particles given by Finnish legislators. The results indicated that recommendation limits were exceeded almost all the time during lessons. Large amount of respirable particles were also present during the measurements. These particles are known for their harmfulness to health by many researches.

At the end some suggestions were made on how to decrease the fine particle levels in the new construction laboratory that will be build to the I-wing. The most effective way would be to enhance the ventilation and to improve the work practices. It is also important to remember personal safety equipment while working in the laboratory.

After the new laboratory is built and taken to use in the I-wing, these measurements will be redone and the new results compared with the old ones.

---

Keywords	fine particle, particulate, construction laboratory, ventilation, air quality
----------	---

## **Esipuhe**

Olen tyytyväinen, että eräänä toukokuun 2009 alun päivänä jaksoin lähteä koululle. Olimme saaneet koulutusohjelman johtajalta aiemmin sähköpostia, että sinä aamuna olisi Ilmanlaatu-seminaari ja mahdollisesti opinnäytetyöaiheita tarjolla. Minä ja kaksi muuta meidän luokalta saapuivat paikalle ja kahta tuntia myöhemmin lähtivät opinnäytetyöaiheen kanssa kotiin.

On ollut jännittävää päästä kokeilemaan koulussa oppimaani ja omasta mielestäni työn tekeminen on ollut onnistunutta. Toivottavasti työni hyödyttää mahdollisimman paljon sen tilannutta projektia ja auttaa mahdollisesti tulevia projektiin osallistuvia opiskelijoita lähdemateriaalina.

Kiitokset haluan osoittaa projektin jäsenille Mikko Luodolle, Petri Ojalalle, Maarit Korhoselle ja Pasi Arvelalle ja erityiskiitokset työni ohjaajalle, projektin johtajalle Jarmo Liljalle. Kiitokset myös projektiin osallistuneille opiskelijakollegoilleni Anna Haaralalle ja Maija Nenoselle vertaistuesta. Lisäksi haluan kiittää Rakennusosaston henkilökuntaa Hannu Aarikkaa, Kati Orjalaa, Jarno Oravasaarta ja Reijo Alataloa työhön saaduista tiedoista ja neuvoista. Lisäksi kiitos vielä vanhemmilleni ja muille taustahenkilöille tuesta.

Tampereella 18. marraskuuta 2009

Ilari Rautanen

## Sisällysluettelo

1 Johdanto .....	7
2 Sisäilman laadun osatekijät ja niiden terveysvaikutukset .....	8
2.1 Kemialliset epäpuhtaudet .....	8
2.1.1 Ammoniakki .....	9
2.1.2 Asbesti .....	9
2.1.3 Formaldehydi .....	10
2.1.4 Hiilidioksidi .....	11
2.1.5 Hiilimonoksidi eli häkä .....	11
2.1.6 Styreeni .....	12
2.1.7 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) .....	12
2.1.8 Tupakansavu .....	13
2.2 Lämpötila .....	13
2.3 Kosteus ja siitä aiheutuneet mikrobikasvustot .....	14
2.4 Ilmanvaihto .....	14
3 Pienhiukkaset .....	16
3.1 Luokittelu .....	16
3.2 Hiukkasten lähteet .....	16
3.3 Hiukkasten mittaaminen .....	19
3.4 Hiukkasten vaikutus terveyteen .....	21
3.5 Pienhiukkasiin liittyvä lainsäädäntö .....	22
3.5.1 Suomen laki .....	22
3.5.2 Säädökset ja muut suositukset .....	23
4 Mittaukset .....	24
4.1 Mittauslaitteet .....	24
4.2 Mittausjärjestelyt .....	26
4.3 Mittausten tulokset ja analysointi .....	32
4.4 Keskustelut rakennuslaboratorion henkilökunnan kanssa .....	37
5 Parannusehdotukset .....	38
Lähteet .....	39
Liitteet	
Liite 1: Mittausdata 17.9.2009 kiviaineslaboratoriossa .....	41
Liite 2: Mittausdata 8.10.2009 betonilaboratoriossa .....	45

## Lyhenteiden ja termien luettelo

ASA	ammattissaan syöpäsairauden vaaraa aiheuttavien tekijöiden rekisteri
CCA-suola	arseenia, kuparia ja kromia sisältävä kylläste
CC-suola	kuparia ja kromia sisältä kylläste
HTP	haitallisiksi tunnetut pitoisuudet
PM <sub>x</sub>	ilmassa olevat hiukkaset (Particulate Matter), alaindeksi x kertoo kokoluokan
TSP	hiukkasten kokonaisleijuma (Total Suspended Particles)
VOC	haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)

# 1 Johdanto

Työ tehtiin tulevaan TAMK Ilmanlaatu -projektiin liittyneeseen alkuselvitykseen. Projekti alkaa varsinaisesti 2010 alussa, ja siihen liittyen on tehty jo aiemmin kaksi opinnäytetyötä, ja projekti tulee olemaan jatkuva. Aiempien töiden tutkitut tilat ovat olleet pääsääntöisesti kemian laboratoriotiloja, joista osa on ollut TAMKin ulkopuolisia muissa Tampereen oppilaitoksissa olleita.

Tämä työ liittyi TAMKin rakennuslaboratorion tulevaan muuttoon uusiin tiloihin G-siivestä I-siiveen. Tarkoituksena oli tutkia laboratorion ilmanlaatua ja erityisesti pienhiukkasia kiviaines- ja betonilaboratoriossa. Saatujen mittaustulosten perusteella ja lainsäädäntöön ja ohjeisiin perustuen annettiin parannusehdotuksia remonttia ajatellen ongelmakohtiin, jotka vaatisivat parannusta. Uusien tilojen valmistuttua I-siivessä mittaukset tullaan uusimaan, ja uusia tuloksia tullaan vertailemaan tämän työn tuloksiin.

Mittalaitteina käytettiin ARTI:a ja DustTrakia, joiden toiminta perustuu valon optiseen sirontaan ohi virtaavista hiukkasista. Mittaukset suoritettiin kahtena päivänä tilojen ollessa opetuskäytössä. Mittausajankohdiksi valittiin tunnit, jolloin analysoitiin soraa ja valmistettiin betonia. Näillä tunneilla, rakennusosaston laboratorion henkilökunnan kokemuksen mukaan, syntyi eniten pölyä ilmaan. Projektin alussa oli myös suunnitelmia mittauksien suorittamisesta puutyötilassa, mutta rakennusosaston henkilökunnan mukaan tiloissa on äärimmäisen harvoin toimintaa ja tiloja käyttää lähinnä vain henkilökunta eikä opiskelijat. Edellä mainituista syistä puutyötilassa ei tehty mittauksia.

## 2 Sisäilman laadun osatekijät ja niiden terveysvaikutukset

Puhakan ja Kärkkäisen mukaan sisäilmanlaatuun vaikuttavat monet eri tekijät, joista osa on suoraan terveydelle haitallisia sekä sairauksia aiheuttavia ja osa on lähinnä miellyttävyystekijöitä, jotka tosin vaikuttavat muihin tekijöihin mahdollisesti voimistaen niitä. Eri ihmiset reagoivat eri osatekijöihin eri tavalla. Reagoinnin voimakkuuteen vaikuttaa henkilön ikä, terveydentila ja perimä (Puhakka & Kärkkäinen 1996, 10.)

Ruotsalainen ja Palomäki kertovat huonon sisäilman aiheuttavan oireita hengitysteiden limakalvoilla, keuhkoputkissa, veressä, keskushermostossa, iholla ja silmissä. Heidän mukaansa oireet ja sairaudet ilmenevät ärsytysoireina, allergioina, toistuvina infektioina, väsymyksenä, päänsärkynä, kuumeiluna, pitkäaikaisina sairauksina kuten astmana ja syöpäriskin lisääntymisenä. Samoja oireita aiheuttavat myös muut tekijät, mutta sisäilmaa on syytä epäillä, jos henkilöillä oireet ilmenevät epäilyssä rakennuksessa sisällä ollessa tai välittömästi sieltä poistuttua. Terveyshaittojen lisäksi sisäilman ongelmat aiheuttavat myös epäviihtyvyyttä ja työtehon laskua (Ruotsalainen & Palomäki 2006, 5.)

Tässä työssä perehdyttiin enimmäkseen pienhiukkasiin, joista on kerrottu myöhempanä. Muut ilmanlaatuun vaikuttavat osatekijät on esitetty lyhyesti kokonaiskuvan muodostamiseksi.

### 2.1 Kemialliset epäpuhtaudet

Kemiallisia epäpuhtauksia on monia erilaisia. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysoppaan mukaan oleellimmat näistä ovat ammoniakki, asbesti, formaldehydi, hiilidioksidi, hiilimonoksidi eli häkä, styreeni, haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC, sisäilman hiukkaset ja tupakansavu. Hiukkaset käsitellään pääluvussa 3. Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt useille kemiallisille aineille haitallisiksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot (Asumisterveysopas 2008, 128 - 130.)



### 2.1.1 Ammoniakki

Ammoniakkia voi päästä sisäilmaan erilaisista rakennusmateriaaleista, maaleista ja lakoista, siivouskemikaaleista, ihmisten ja eläinten eritteistä ja myöskin tupakointi lisää ammoniakkipitoisuutta. Ammoniakkia muodostuu myös orgaanisten aineiden ja proteiinien hajotessa rakennusaineissa, tasotteissa tai liima-aineissa kosteuden vaikutuksesta. Tällöin vapautuu myös VOC:ta, kuten amiineja, aldehydejä sekä orgaanisia rikkiyhdisteitä ja rasvahappoja (Asumisterveysopas 2008, 130 - 131.)

Ammoniakin voi haistaa 100 - 37000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksista alkaen, mutta amiinit voi haistaa 10 - 100 kertaa pienemmistä pitoisuuksista ja amiinit myöskin aiheuttavat ärsytystä pienemmissä pitoisuuksissa. Ammoniakki alkaa ärsyttää 160 - 410  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksissa. Asumisterveysoppaan mukaan tavanomainen arvo ammoniakille sisäilmassa on 10 - 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja yli 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  on tavanomaista korkeampi (Asumisterveysopas, 2008, 131.) Sosiaali- ja terveysministeriön HTP-arvot 2007 kertoo, että ammoniakille on 8 tunnin keskiarvolle 14000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja 15 minuutille 36000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (HTP- arvot 2007 2007, 15).

Ammoniakki voidaan mitata imemällä tutkittavaa ilmaa rikkihappoliuokseen tai laimealla rikkihapolla käsiteltyyn aktiivihiileen tai silikageeliä sisältävään absorbenttiputkeen. Näyte tämän jälkeen analysoidaan ioniselektiivisellä tai spektrofotometrisellä menetelmällä (Asumisterveysopas 2008, 131.)

Kemian työsuojeluneuvottelukunta sanoo, että ammoniakki imeytyy pääasiassa hengitysteiden yläosien limakolvojen kautta elimistöön. Ammoniakki ärsyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä (Kemian työsuojeluneuvottelukunta 2002).

### 2.1.2 Asbesti

Luonnossa esiintyviä mineraalikuituja kutsutaan asbestiksi. Asbestilla on hyvät lämmön ja äänen eristys ominaisuudet. Nykyiset suomalaiset rakennusmateriaalit eivät sisällä asbestia (Asumisterveysopas 2008, 131 - 133.)

Sisäilman asbestikuitupitoisuuden on oltava alle  $0,01$  kuitua/ $\text{cm}^3$  ja pinnoille laskeutuneesta pölystä asbestikuituja ei saa löytyä. Asbesti määritetään keräämällä näyte selluloosaesterisuodattimelle. Näyte preparoidaan ja mikroskoopilla lasketaan kuidut. Myös pölynäytteiden kerääminen pinnoilta ja niiden elektronimikroskoopilla tutkiminen on mahdollista (Asumisterveysopas 2008, 131 - 133.)

Asbesti voi aiheuttaa keuhkosityöpää, muita syöpäsairauksia, pölykeuhkosairautta ja keuhkopussin muutoksia. Asbestin purkutöitä saa tehdä ainoastaan ammattilaiset (Asumisterveysopas 2008, 131 - 133.)

Multisillan ja Niittymäen ilmanlaatuprojektin yhteenvedossa (Multisilta & Niittymäki 2009) kerrottiin, että TAMKissa on tehty asbestimittauksia 2006 I-siivessä, mutta ei muualla. Asbestia löytyy eristemateriaaleista, mutta ei seinä- eikä lattiamateriaaleista. Tilanne rakennuslaboratorioissa ei ole tiedossa.

### 2.1.3 Formaldehydi

Asumisterveysoppaassa kerrotaan sisäilman formaldehydin olevan peräisin yleensä liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista, jota on lastulevyissa ja eräissä paneeleissa. Myös maaleissa ja muissa pinnoitteissa voi olla formaldehydiä, joka vapautuu sisäilmaan (Asumisterveysopas 2008, 133 - 134.)

Sisäilman formaldehydi pitoisuuden pitäisi olla alle  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hajukynnys sille on  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ärsytysoireita voi syntyä herkimmille jo  $5 - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksissa (Asumisterveysopas 2008, 133). HTP-arvot 2007 kertoo, että formaldehydin haitallisiksi tunnetut pitoisuudet 15 minuutin aikajaksolla ihmiselle ovat  $1200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja 8 tunnin aikajaksolla  $370 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (HTP-arvot 2007, 22). Kansainvälisten kemikaalikorttien (Kansainväliset kemikaalikortit 2009) mukaan formaldehydi ärsyttää voimakkaasti silmiä ja hengitysteitä. Pidempi aikainen altistuminen aiheuttaa syöpää.

Formaldehydi määritetään passiivikeräimellä, joka asetetaan huoneistoon 1 vuorokaudeksi ja tämän jälkeen analysoidaan laboratoriossa (Asumisterveysopas 2008, 133).

#### 2.1.4 Hiilidioksidi

Sisäilman hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) on lähtöisin pääasiassa ihmisistä. Liika sisäilman hiilidioksidi voidaan havaita tunkkaisuutena ja se kertoo useimmiten huoneiston ilmanvaihdon riittämättömyydestä. Hiilidioksidille ei ole määritetty erityistä haitallista arvoa, mutta yli  $2700 \text{ mg/m}^3$  arvoa pidetään osoituksena sisäilman huonosta laadusta. Hiilidioksidin mittausta tulisi suorittaa, jos sisäilma tuntuu tunkkaiselta. Liian korkea hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa väsymystä, työtehon laskua ja päänsärkyä (Asumisterveysopas 2008, 134.)

Sisäilman hiilidioksidi voidaan mitata jatkuvatoimisilla, rekisteröivillä elektronisilla mittareilla. Niiden toiminta perustuu yleensä infrapunasäteilyn adsorptioon tai sähkökemialliseen kennoon. Hetkellinen hiilidioksidimäärä voidaan määrittää myös ilmaisinputkilla, jotka värjäytyvät niiden läpi imettäessä ilmaa (Asumisterveysopas 2008, 134.)

#### 2.1.5 Hiilimonoksidi eli häkä

Häkää syntyy, kun hiilipitoinen aine palaa liian pienessä happimäärässä, kertoo Asumisterveysopas. Liikenne, väärin toimivat ja käytetyt uunit ja takat, kaasuliedet ja tupakointi ovat suurimmat hä'än aiheuttajat (Asumisterveysopas 2008, 134.)

Hiilimonoksidi sitoutuu veren hemoglobiiniin huomattavasti paremmin kuin happi, ja näin ollen syrjäyttää hapen verestä. Lievän häkämyrkytyksen oireita ovat päänsärky, hengenahdistus ja pahoinvointi. Suurempi määrä häkää voi johtaa kuolemaan (Asumisterveysopas 2008, 134.)

Hiilimonoksidin pitoisuus voidaan määrittää ilmaisinputkilla, jotka värjäytyvät, kun niiden läpi imetään ilmaa. Toinen tapa mittaamiseen on jatkuvatoimiset elektroniset mittarit, jotka perustuvat infrapunasäteilyn adsorptioon tai sähkökemialliseen kennoon (Asumisterveysopas 2008, 134.)

### 2.1.6 Styreeni

Sisäilman styreeni on yleensä peräisin rakennusmateriaaleissa käytetyn polyesterihartsin eri komponenteista, jos ne eivät ole reagoineet keskenään täydellisesti (Asumisterveysopas 2008, 135 - 136).

Styreenin pitoisuudet jäävät sisäilmassa yleensä alle  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :ssä. Styreenin ärsytyskynnys on  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Styreeni ärsyttää silmien sidekalvoja ja hengitysteiden limakalvoja. Styreenin alhaisten pitoisuuksien pitkäaikaisvaikutusta ei tunneta kovin hyvin (Asumisterveysopas 2008, 135 - 136.)

Styreenin määrä sisäilmassa voidaan määrittää aktiivihiliputkella, johon pumpataan ilmaa. Näyte uutetaan rikkihiileen ja analysoidaan kaasukromatografilla (Asumisterveysopas 2008, 135 - 136.)

### 2.1.7 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

VOC-pitoisuus kuvaa yleensä ilmassa olevien kemiallisten aineiden kokonaispitoisuutta ja mittaustulos ilmoitetaan yleensä termillä TVOC eli kaikki haihtuvat orgaaniset yhdisteet. TVOC-pitoisuuden tulos on yleensä liian epätarkka käytettäväksi sellaisenaan terveyshaitan arvioinnissa. Yleensä pitää määrittää tarkemmin, minkä orgaanisen yhdisteen pitoisuus on koholla. Kohonneena pitoisuutena voidaan pitää  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ja tavallinen pitoisuus on yleensä  $200 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Asumisterveysopas 2008, 136 - 139.)

Kovin tarkkaan ei voida sanoa, miten VOC:it vaikuttavat, koska tähän ryhmään kuuluu kovin monia erilaisia yhdisteitä. Yleisesti VOC:it aiheuttavat erilaisia ärsytysoireita hengitysteissä ja limakalvoilla (Asumisterveysopas 2008, 136 - 139.)

VOC:it voidaan kerätä ilmasta erilaisilla pumpuilla määrittystä varten. On olemassa myös elektronisia mittareita, joilla voidaan havaita, onko ilmassa VOC:ja ja kuinka paljon. Yleensä VOC:it ilmoitetaan tolueeniekvivalenttina (Asumisterveysopas 2008, 136 - 139.)

### **2.1.8 Tupakansavu**

Tupakansavu on yksi suurimmista ilmanlaatua huonontavista tekijöistä Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysoppaan mukaan. Sisäilman tupakansavu on yleensä lähtöisin ulkoa, joka on päätenyt sisälle rakennevuotojen tai väärin toimivan ilmanvaihdon takia (Asumisterveysopas 2008, 140 - 142.)

Tupakan savu on määritelty syöpävaaralliseksi aineeksi tupakkalain 11 a §:n mukaan. Tupakansavu sisältää erityisen paljon pienhiukkasia, jotka saattavat päätyä ihmisten keuhkoihin (Laki toimenpiteistä tupakoinnin vähentämiseksi 13.8.1976/693.)

Tupakansavun päätymistä sisälle taloon oppaan mukaan voidaan tutkia aistinvaraisesti ja tekosavulla voidaan määrittää, mitä reittejä myöten savu pääsee sisälle (Asumisterveysopas 2008, 140 - 142).

### **2.2 Lämpötila**

Eri ihmiset tuntevat eri lämpötilan eri tavalla johtuen monista eri fysiologisista ja psykologisista syistä. Lämpötila vaikuttaa myöskin vedon tunteeseen ja voi heikentää tai vahvistaa muita sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä, kuten kosteutta (Asumisterveysopas 2008, 24 - 43.)

Liian korkea huonelämpötila lämmityskaudella voi lisätä väsymystä, keskittymiskyvyn huonontumista, hengitysoireita ja kuivuuden tunnetta. Liian korkea lämpötila edesauttaa kaasumaisten epäpuhtauksien vapautumista eri lähteistä. Lämpötilan vaikutusta ihmisten terveyteen ei vielä tiedetä riittävän tarkkaan (Asumisterveysopas 2008, 24 - 43.)

Tavallinen lämpötilanmittaus voidaan suorittaa lämpömittarilla tai lämpövuotoja voidaan etsiä lämpökameralla (Asumisterveysopas 2008, 24 - 43).

### **2.3 Kosteus ja siitä aiheutuneet mikrobikasvustot**

Sisäilman kosteus ja kuivuus eivät ole suoranaisia terveyshaittoja Asumisterveysoppaan mukaan, mikäli huoneistossa ei ole muuta poikkeavaa. Liiallinen kosteus mahdollistaa erilaisten mikrobien kasvun pinnoilla, kuten homeen (Asumisterveysopas 2008, 146 - 153.)

Mikrobien tyypillisesti aiheuttamia terveyshaittoja ovat silmien, ihon ja hengitysteiden limakalvojen ärsyntyminen. Muita oireita ovat nuha, äänenkähäys, yskä ja limannousu keuhkoista, nenäverenvuodot, hengenahdistus ja hengitysvaikeudet, päänsärky, väsymys ja pahoinvointi. Toistuvan altistuksen seurauksena voi tulla pitkäaikaissairaus kuten astma, allergiset oireet, ihottuma ja alveoliitti (Asumisterveysopas 2008, 146 - 153.)

Mikrobien läsnäolo voidaan määrittää erilaisilla pinta- ja ilmakeräysnäytteillä. Nämä otetut näytteet pitää kasvattaa laboratorio-oloissa petriمالjoissa ja noin kolmen viikon päästä tutkia mikroskoopilla (Asumisterveysopas 2008, 146 - 153.)

### **2.4 Ilmanvaihto**

Asumisterveysoppaan mukaan (Asumisterveysopas 2008, 56 - 60) ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa epäpuhtaudet sisäilmasta ja huolehtia korvausilman saannista.

Suomen rakentamismääräyskokoelma sanoo, että luokkatilassa korvausilmaa pitää tulla 6 l/s/henkilö. Liian suuri ilmanvaihdon määrä voi aiheuttaa puhaltimien, venttiilien ja kanaviston melua sekä aiheuttaa vedon tunnetta (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2003, 24.)

Pääkkösen ja Rantasen mukaan päästölähteen eristäminen työntekijöistä ja ilmanvaihdon tehostaminen ovat tärkeimmät keinot torjua epäpuhtauksia leviämistä työpaikoilla. Pääkkönen ja Rantanen kertovat, että kohdeilmanpoisto on tärkeä tekijä ilman epäpuhtauksien ehkäisemisessä ja yleisilmanvaihdoilla laimennetaan ja poistetaan jäännöspuhtaudet, jotta työntekijöiden passiivinen altistuminen pienenee. Puhtaudeltaan erilaiset tilat tulisi eristää ja koteloida toisistaan paine-eroja hyväksi käyttäen

Pääkkösen ja Rantasen mukaan kohdeilmanpoiston tulee sijaita mahdollisimman lähellä päästölähdettä ja imun on sijaittava pois päin työntekijöistä. Sijoituksessa voidaan käyttää hyväksi epäpuhtauksien luonnollista liikesuuntaa, esimerkiksi suuret ja raskaat hiukkaset painuvat alaspäin, joten imun on hyvä sijaita päästölähteen alapuolella. Heidän mukaansa poistoilman mitoituksen määrää epäpuhtauksien hallinnassa tarvittava ilmamäärä ja hyvä lähtökohta on 0,5 m/s huuvan aukolla. He muistuttavat myös, että häiriövirtaukset, epäpuhtauksien muodostumisnopeus ja termiset virtaukset pitää huomioida (Pääkkönen & Rantanen 1999, 64 - 70.)

Ympäristöministeriön Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2003, 4 - 6) ilmanvaihtojärjestelmä pitää suunnitella niin, että se luo edellytykset tavanomaisissa sääolosuhteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmalle. Ympäristöministeriön mukaan ilmanvaihtolaitteisto pitää suunnitella myöskin niin että se oikein huollettuna, kunnossapidettynä ja käytettynä kestää suunnitellun käyttöiän. Ilmavirtaa pitää pystyä myöskin säätelemään olosuhteiden mukaan.

### 3 Pienhiukkaset

#### 3.1 Luokittelu

Hiukkasia ilmassa -tiedote esittää (Anttila, Haaparanta, Kousa, Lahtinen & Salonen 2004), että yli 10  $\mu\text{m}$ :n hiukkaset ovat nimeltään suuria hiukkasia ja alle 10  $\mu\text{m}$ :n kokoisia hiukkasia kutsutaan hengitettäväksi hiukkasiksi (Taulukko 1). Suurimmat hengitettävät hiukkaset eli karkeat hiukkaset ovat halkaisijaltaan 2,5-10  $\mu\text{m}$ :ä ja pienhiukkaset ovat alle 2,5  $\mu\text{m}$ :ä ja alle 1  $\mu\text{m}$ :n hiukkaset ovat ultrapieniä hiukkasia.

Salosen ja Pennasen mukaan ilmassa leijuvien hiukkasten massapitoisuuteen viitataan PM-lyhenteellä (Particulate Matter), ja alaindeksi kertoo hiukkasten kokoluokan mikrometreissä esimerkiksi  $\text{PM}_{2,5}$ , joka tarkoittaa halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometriä olevia hiukkasia. Ultrapienten hiukkasten määrä mitataan useimmiten lukumääräpitoisuutena (Salonen & Pennanen 2004, 3.)

**Taulukko 1** *Hiukkasten luokittelu*

Nimi			
suuret hiukkaset	yli 10 $\mu\text{m}$		
hengitettävät hiukkaset	alle 10 $\mu\text{m}$	$\text{PM}_{10}$	
karkeat hiukkaset	2,5 - 10 $\mu\text{m}$		
pienhiukkaset	alle 2,5 $\mu\text{m}$		$\text{PM}_{2,5}$
ultrapienet hiukkaset	alle 1 $\mu\text{m}$		

#### 3.2 Hiukkasten lähteet

Asumisterveysoppaan mukaan pienhiukkaset, jotka ovat ulkoilmassa, ovat peräisin palamisreaktioista, liikenteestä, energiantuotannon ja teollisuuden kaukokulkeumasta ja katupölystä. Sisätiloissa olevat hiukkaset ovat lähtöisin useimmiten ulkoa sisälle siirtymisestä, tupakansavusta ja muista sisälähteistä, kuten huonepölystä, ruuanlaitosta jne. Rakennusteollisuudessa suurin hiukkaslähte on rakennuspöly, joka koostuu lähinnä betoni- ja puupölystä (Asumisterveysopas 2008, 139.)



Hiukkasten lähde vaikuttaa suuresti hiukkasen kokoon ja muotoon. Kivipöly on useimmiten pyöreähkö, ja esimerkiksi asbesti on hyvin monimuotoinen ja usein pitkänoloinen kuitu (Asumisterveysopas 2008, 139.)

### **Betonipöly**

Riiala sanoo, että rakennusteollisuudessa rakennuspöly on suurin hiukkaslähde. Betonipölyn lisäksi syntyy tiili- ja kivipölyä ja ne usein syntyvät samaan aikaan. Betonipölyä syntyy eniten purkuvaiheessa, mutta myös rakennusvaiheessa lattioiden ja seinien hionnassa sekä rakentamisen päättyessä siivousvaiheessa (Riiala 2003.)

Betonissa oleva sementti on emäksistä ja ärsyttää ihoa ja hengitysteitä. Betonin sisältämä kiviaines Suomessa sisältää kvartsia. Harmaassa ja punaisessa graniitissa sitä on noin 20 - 40 %, ja mustassa n. 0 - 15 %. Gneississä kvartsia on keskimäärin 15 %. Kvartsipöly voi aiheuttaa pitkään kestäneessä altistuksessa pölykeuhkosairauden, silikoosin. Altistus kvartsipölylle ja/tai silikoosi saattaa johtaa keuhkosyöpään ja munuaissairauteen sekä olla laukaisevana tekijänä eräissä reumaattisissa sairauksissa. Kvartsipölyaltistumista ei kuitenkaan ainakaan vielä Suomessa rekisteröidä ASA-rekisteriin (ammatissaan syöpäsairauden vaaraa aiheuttavien tekijöiden rekisteri) (Riiala 2003.)

### **Puupöly**

Riialan mukaan puupölyä syntyy sahattaessa ja työstettäessä puuta. Puupöly ärsyttää mm. hengitysteitä ja kovapuulajien pöly on syöpää aiheuttava. Kyllästetyn puun pöly sisältää useita haitallisia ainesosia. Kyllästetty puu sisältää yleensä joko kreosoottia tai CCA-suolaa. Kreosoottiöljy on kivihiilitervan tislauustuote, jolla perinteisesti kyllästetään ratapölkyt ja pylvää. Kreosootilla käsitelty puu haisee voimakkaasti ja on ruskeaa väriltään. Kreosootti sisältää satoja orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat ympäristölle ja/tai terveydelle haitallisia. Kreosoottipuu on rajattu ammattikäyttöön ja sitä ei saa käyttää sisätiloissa, lenkkikentillä tai puutarhakalusteissa (Riiala 2003.)

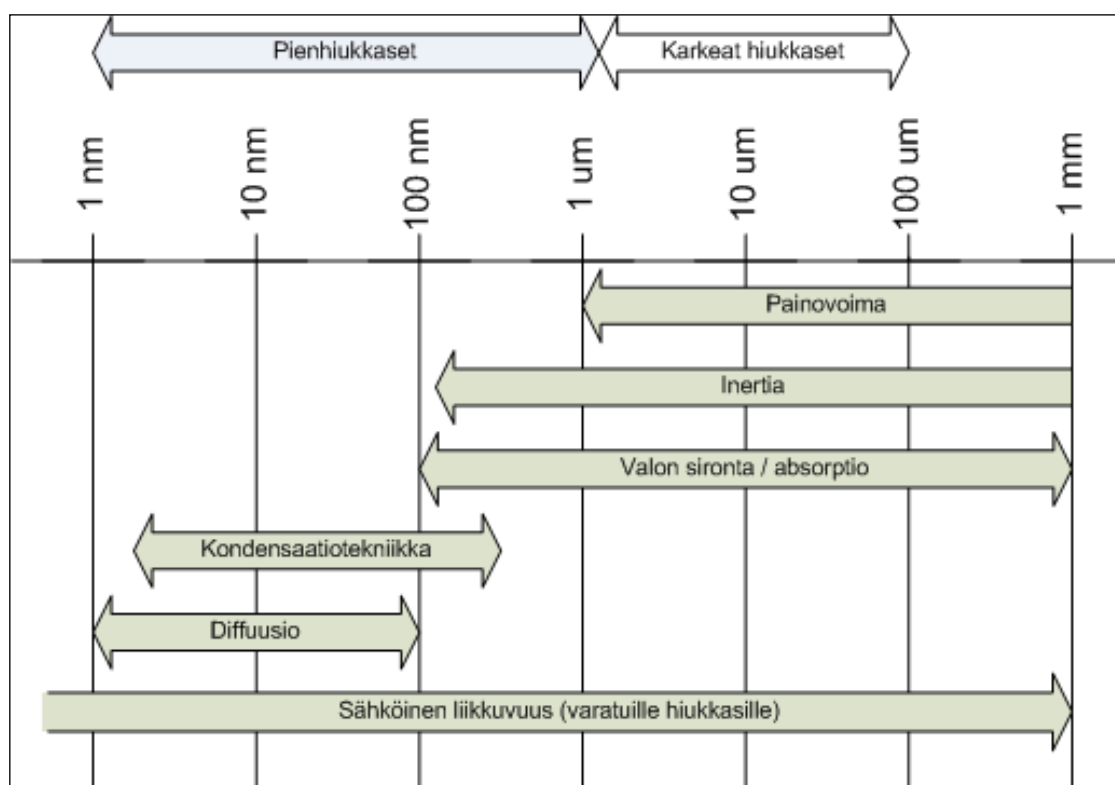
Riiala kertoo, että CCA-suola eli arseenia, kuparia ja kromia sisältävät kyllästeet värjäävät puun vihreäksi. Pelkkää kuparia ja kromia sisältävät kyllästeet on nimetty CC-kyllästeiksi ja nykyään on myös pelkkää kuparisuolaa sisältävää kyllästettä. CCA-kyllästeet on tarkoitettu jatkuvaan maa- tai vesikosketuksessa olevaan rakenteeseen tai pylväaseen. Myöskään CCA-kyllästettyä puuta ei saa käyttää puutarhakalusteissa tai muissa suorassa ihmiskosketuksessa olevissa kohteissa (Riiala 2003.)

Kreosootti ärsyttää silmiä, ihoa ja hengityselimiä ja erityisesti auringonvalossa se voi aiheuttaa allergisen ihoreaktion. Suuremmat altistuspitoisuudet aiheuttavat syöpää ja perimänmuutoksia. Altistus voi tapahtua hengittämällä haihtunutta kreosoottiöljyä tai puun työstämisvaiheessa ihokosketuksessa (Riiala 2003.)

CCA:n arseenipentoksidi ärsyttää ihoa, silmiä ja keuhkoja usein tapahtuvassa altistumisessa ja nieltynä sekä hengitettynä se on myrkyllistä. Arseenipentoksidi on myöskin syöpää aiheuttava. CCA:n kromitrioksidi on myrkyllistä iholle ja nieltynä ja myöskin syövyttävää. Se on hengitettynä syöpää aiheuttava. Kreosootilla, CCA- ja CC-kyllästeillä käsiteltyä puuta työstävät työntekijät tulee ilmoittaa ASA-rekisteriin (Riiala 2003.)

### 3.3 Hiukkasten mittaaminen

Riipisen ja Lehtipalon mukaan hiukkasia voidaan mitata esimerkiksi optisesti tai tekniikoilla, jotka perustuvat sähkövaraukseen tai massahitauteen (Kuva 1). Mittaamalla ei yleensä pystytä määrittämään hiukkasen todellista geometrista kokoa, vaan yleensä mitataan jotakin ominaisuutta, joka riippuu halkaisijasta. Siksi puhutaan mittaustavan mukaan esimerkiksi aerodynaamisesta, optisesta tai liikkuvuushalkaisijasta. Eri menetelmien tuloksia ei voida verrata suoraan keskenään. Sopivan mittaustavan valintaan vaikuttaa siis haluttu tieto, eli halutaanko tietää pitoisuus vai kokojakauma, lukumäärä vai massa, heti vai viiveellä (Riipinen & Lehtipalo 2009.)



**Kuva 1** Hiukkasten mittaustekniikat riippuen hiukkasen koosta. (Riipinen & Lehtipalo 2009)

Hiukkasten pitoisuus voidaan määrittää joko massana tai lukumääränä ilmatilavuutta kohden ja kemiallista koostumusta voidaan määrittää suodatinkeräyksessä.

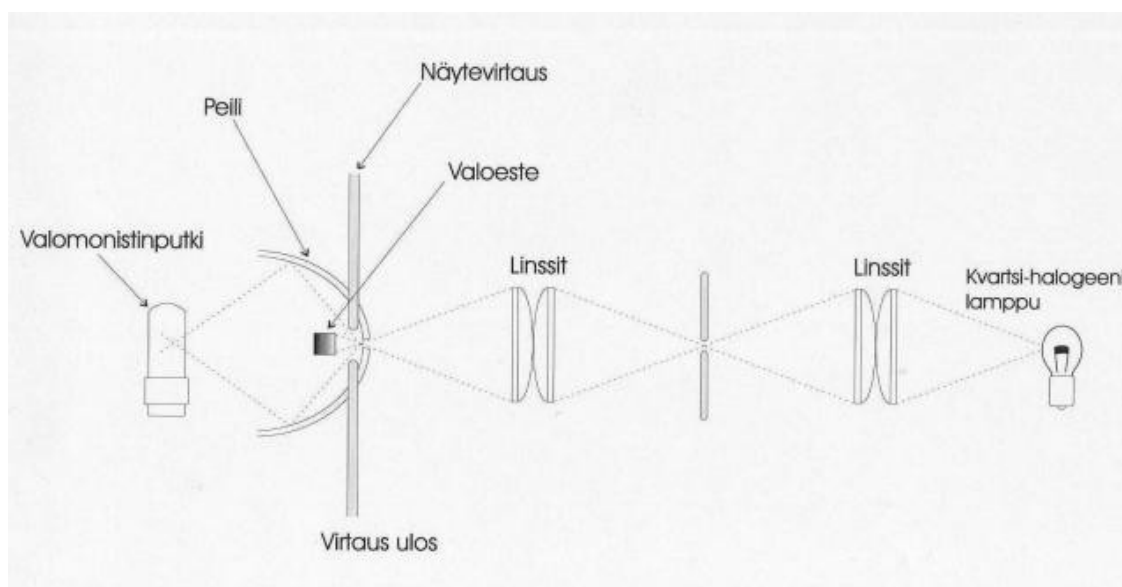
Kokonaisleijuma voidaan mitata standardin SFS 3860, Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatinmenetelmällä, mukaan. Näytteet kerätään selluloosa-asetaattisuodattimille, jotka punnitaan ennen ja jälkeen näytteenoton.

Hengitettävien hiukkasten eli  $PM_{10}$  pitoisuus saadaan määritettyä standardin EN 12341 mukaisella tai vastaavalla keräimellä. Hengitettävien ja pienhiukkasten keräämiseen käytetään syklonia tai impaktoria esierottimena. Tätä voidaan käyttää erityisesti erittäin pölyisissä olosuhteissa (Asumisterveysopas 2008, 139 - 140.)

Pinnoilta löytyvä pöly tietyn kokoiselta alueelta voidaan imuroida pussiin. Pussi punnitaan ennen ja jälkeen näytteen keräämisen ja suoritetaan vähennyslasku, jolloin saadaan hiukkasten massa pinta-alaa kohti. Myöskin tahmeapintaisia lasilevyjä voidaan käyttää näytteitä kerätettäessä. Lasilevyt tutkitaan näytteenoton jälkeen vaihesiirtomikroskoopilla (Asumisterveysopas 2008, 139 - 140).

Optisten mittalaitteiden toimintaperiaate on esitetty yksinkertaistetusti Kuvassa 2.

Riipisen ja Lehtipalon mukaan näytevirtaus ohjataan valonsäteen ohi, jolloin valo siroaa hiukkasista. Sironneet valoimpulssit kerätään ilmaisimelle, jossa hiukkasten koon kertoo pulssien korkeus ja pitoisuuden pulssien saapumistaajuus (Riipinen & Lehtipalo 2009.)

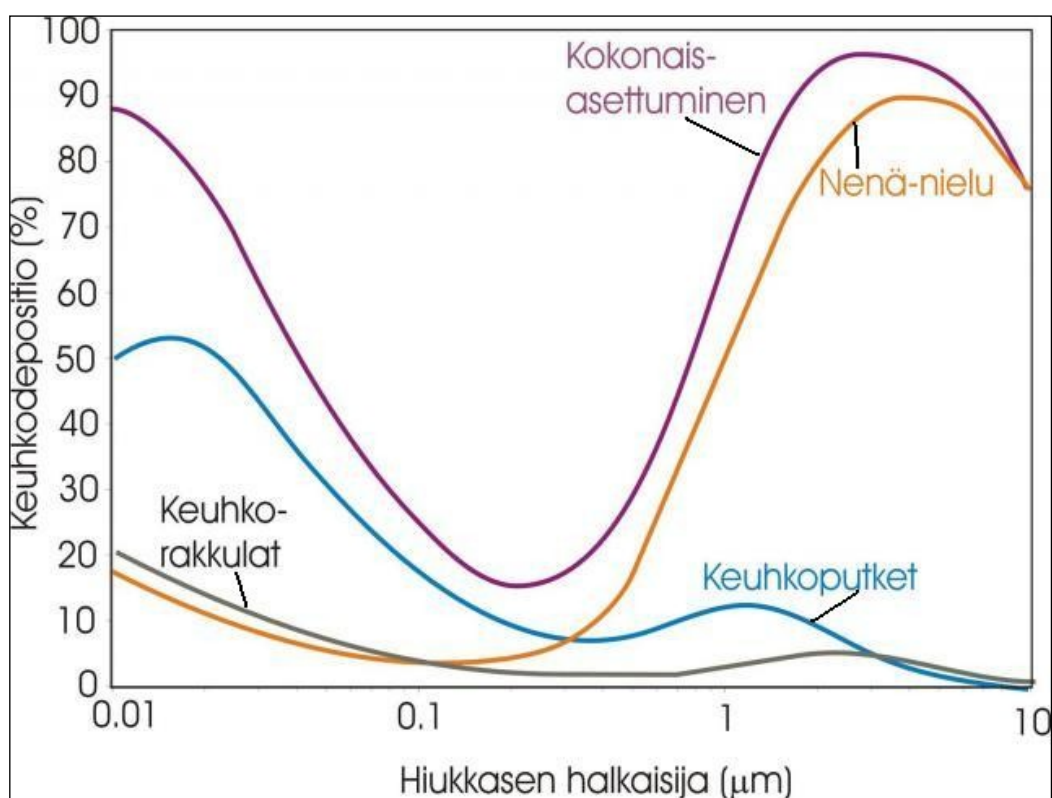


**Kuva 2** Optisen mittauslaitteen toimintaperiaate (Riipinen & Lehtipalo 2009)

### 3.4 Hiukkasten vaikutus terveyteen

Hiukkasia esiintyy kaikkialla sisä- ja ulkoympäristössä. Riipisen ja Lehtipalon sivuston mukaan jopa miljoona suomalaista altistuu hiukkasmuodossa oleville kemikaaleille vuosittain. Altistavia hiukkasia on esimerkiksi mineraalipölyissä, hitsaushuuruissa, puupölyssä, pakokaasuissa sekä jauhoissa ja muissa orgaanisissa pölyissä kuten siitepölyssä ja eläinhilseessä. Nanoteknologia ja työympäristön kemikalisoituminen lisäävät koko ajan riskitekijöitä (Riipinen & Lehtipalo 2009.)

Kuvasta 3 selviää, mihin kohtaan keuhkoja minkäkin kokoiset hiukkaset jakaantuvat. Riipisen ja Lehtipalon mukaan ylähengitysteihin eli nenään ja nieluun pysähtyy suuret hiukkaset ja aivan pienimmät pienhiukkaset. Keuhkorakkuloihin pääsee helpoiten 1 - 10  $\mu\text{m}$ :n hiukkaset ja 10 nm:n hiukkaset. Ylähengitysteistä, joissa on värekarvat, hiukkaset poistuvat yskösliman mukana muutamassa tunnissa. Alahengitysteihin ja keuhkorakkuloihin asti päätyneet hiukkaset poistuvat hyvin hitaasti kuukausien tai vuosien kuluessa makrofagien nielemänä tai kuljetettuina imusolmukkeisiin (Riipinen & Lehtipalo 2009.)



**Kuva 3** Hiukkasten keuhkodepositio (Riipinen & Lehtipalo 2009)

Hiukkastutkimus ja varsinkin terveysvaikutusten havainnointi on vaikeaa. Usein oireet altistumisesta tulevat vasta vuosien jälkeen. On myöskin vaikeaa varmistaa mitkä hiukkaslähteet ja kemialliset koostumukset ovat haitallisimpia. Ultrapienten ja pienhiukkasten kohdalla ei ole pystytty määrittämään turvallista annosrajaa. Useimmat ultrapienet hiukkaset ovat vesiliukoisia kemikaaleja, jotka keuhkorakkuloihin päästyään liukenevat verenkiertoon ja poistuvat lopulta munuaisten kautta virtsassa. Rasvaliukoiset kemikaalit sen sijaan voivat jäädä solukalvojen fosfolipidikalvostoon ja poistuvat elimistöstä huomattavasti hitaammin, jos lainkaan. Liukenemattomat keuhkorakkuloihin päässeet hiukkaset puolestaan saattavat kotoitua ja aikaansaada vuosien kuluessa solumuutoksia ja laukaista syövän (Riipinen & Lehtipalo 2009.)

### **3.5 Pienhiukkasiin liittyvä lainsäädäntö**

Suomen ulko- ja sisäilmanlaatuun liittyvä laki pohjautuu nykyään EU-direktiiveihin. Sisäilman laatua varten ei ole olemassa omaa lakia, vaan sitä säätelee useat eri lait. Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto (Ympäristöministeriö 1987) sekä Sosiaali- ja Terveysministeriön Asumisterveysopas ja Asumisterveysohje ovat tärkeimmät sisäilman laatuun huomiota antavat ohjeet.

#### **3.5.1 Suomen laki**

Sisäilman laatuun Suomessa ottaa kantaa seuraavat lait:

- Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132 ja -asetus 10.9.1999/895
- Terveysturvallisuuslaki 19.8.1994/763 ja -asetus 16.12.1994/1280
- Työsuojelulainsäädäntö
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738 ja Valtioneuvoston asetus työpaikkojen turvallisuus- ja terveysvaatimuksista 18.6.2003/577
- Laki työsuojelun valvonnasta ja työpaikan työsuojeluyhteistoiminnasta 20.1.2006/44
- Valtioneuvoston päätös ympäristön tupakansavusta ja siihen liittyvän syöpävaaran torjunnasta työssä 8.12.1999/1153
- Soveltaen Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 9.8.2001/711

Yksikään laki ei suoraan sano, mitkä ovat pienhiukkasten osalta tarkat toimintaohjeet työpaikoilla tai turvalliset rajat. Lait painottavat terveellisen ja hyvälaatuisen ilman tarpeellisuudesta työpaikoilla.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 9.8.2001/711 sanoo (Valtioneuvon asetus ilmanlaadusta 9.8.2001/711), että hengitettävien hiukkasten ( $PM_{10}$ ) 24 tunnin keskiarvo  $20\text{ °C}$ :ssa ja 1 atm paineessa on  $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  ulkoilmassa alueilla, joilla oleskelee tai asuu ihmisiä. Ylityksiä vuodessa sallitaan 35 kappaletta.

### **3.5.2 Säädökset ja muut suositukset**

Asumisterveysoppaan mukaan sisäilman hiukkasten kokonaisleijuman (TSP, Total Suspended Particles) pitoisuus saa olla enintään  $120\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  24 tunnin keskiarvona lämpötilan ollessa  $20\text{ °C}$  ja ilmanpaineen 1 atm. Hengitettävien hiukkasten ( $PM_{10}$ ) pitoisuus sisäilmassa saa olla enintään  $70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  24 tunnin keskiarvona samoissa mittausolosuhteissa kuten edellä. Pienhiukkasille ( $PM_{2,5}$ ) ei ole annettu ohjearvoa (Asumisterveysopas 2008, 140.)

## 4 Mittaukset

Mittaukset suoritettiin kahtena päivänä (17.9.2009 ja 8.9.2009) rakennustekniikan luokan 09R441 ryhmän A tunneilla rakennuslaboratoriossa. 17.9. oli hiekan ja soran analysointi kiviaineslaboratoriossa ja 8.9. oli betonikoekappaleiden valu betonilaboratoriossa.

### 4.1 Mittauslaitteet

Mittaukset rakennuslaboratoriossa suoritettiin ARTI- ja DustTrak-mittalaitteilla, jotka ovat valon optiseen sirontaan perustuvia mittalaitteita. Ne ovat molemmat elektronisia reaaliajassa toimivia hiukkasmittareita, joissa on datan tallennus.

ARTI-mittalaitteen malli oli KR-12A (HHPC-6). Laitteen käyttöoppaan (ARTI Instruction manual) mukaan mittaus perustuu valon sirontaan ja se on tarkoitettu ilmassa olevien hiukkasten mittaukseen. Laite mittaa hiukkasten lukumääräpitoisuutta tilavuutta kohti kuudessa eri kokoluokassa; 0,5 - 0,7  $\mu\text{m}$ , 0,7 - 1,0  $\mu\text{m}$ , 1,0 - 2,0  $\mu\text{m}$ , 2,0 - 5,0  $\mu\text{m}$ , 5,0 - 10,0  $\mu\text{m}$ , >10,0  $\mu\text{m}$ . Laitteen ottamaa näytteen kokoa voidaan säätää, mutta tehdasasetuksena on 1 l. Laite mittaa myös samalla lämpötilan ja ilmankosteuden. Laitetta ei saa käyttää sumuisessa paikassa tai jos ilmassa on todella paljon pölyä ja varsinkin isokokoisia silmin nähtäviä hiukkasia. Kuvassa 4 on esitetty ARTI-mittalaite.





**Kuva 4** ARTI-mittalaite, joka mittaa pienhiukkasten lukumäärää tilavuutta kohti (kokoerottelu: 0,5 - 0,7  $\mu\text{m}$ , 0,7 - 1,0  $\mu\text{m}$ , 1,0 - 2,0  $\mu\text{m}$ , 2,0 - 5,0  $\mu\text{m}$ , 5,0 - 10,0  $\mu\text{m}$ , >10,0  $\mu\text{m}$ )

DustTrakin malli oli TSI 8520. Laitteen käyttöoppaan ja valmistajan mukaan laite mittaa ilmassa olevien hiukkasten massakonsentraatiota reaaliajassa. DustTrak ei siedä liian suuria hiukkasia tai liian kosteita mittaolosuhteita (DustTrak käyttö- ja huoltoohjeet 1995). Kuvassa 5 on esitetty DustTrak.



**Kuva 5** DustTrak-mittalaite, joka mittaa hiukkasten massakonsentraatiota

## 4.2 Mittausjärjestelyt

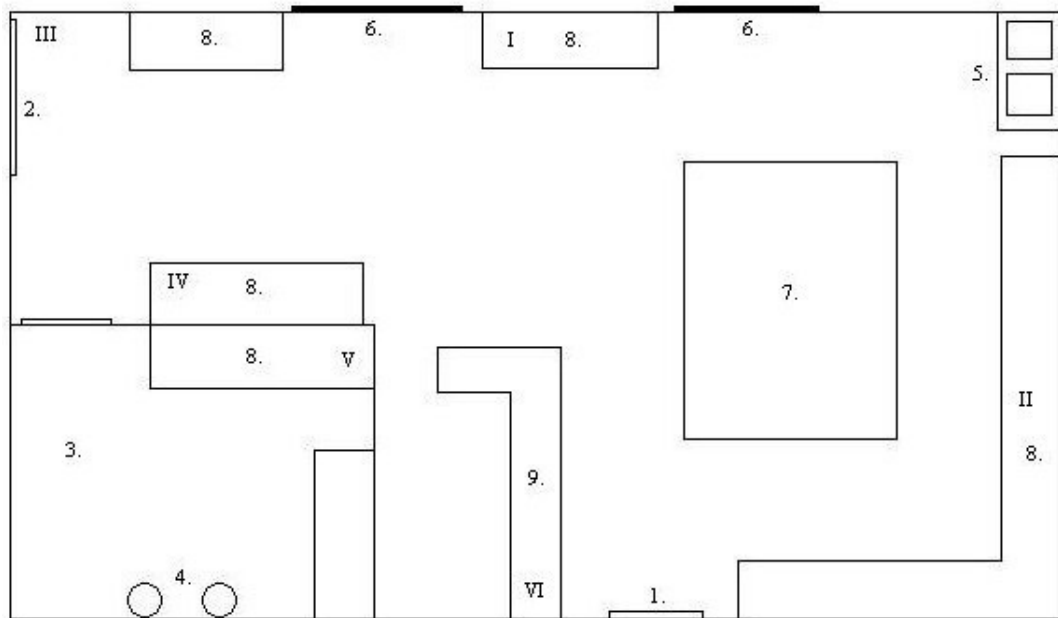
### Kiviaineslaboratorio 17.9.2009

Ensimmäinen mittaus suoritettiin kiviaineslaboratoriossa 17.9.2009. Tiloissa työskenteli noin 20 henkilöä, joista osa oli välillä tauolla. Oppituntien aiheena oli kiviaineksen eri ominaisuuksien ja rakenteen tutkiminen. Luokkatilassa esimerkiksi punnittiin ja kuivattiin soraa ja erillisessä seulontahuoneessa seulottiin soraa ja punnittiin seulontajakeita. Kuvassa 6 on valokuva luokkatilasta.



**Kuva 6** Kiviaineslaboratorio, kuva otettu betonilaboratorioon johtavalta ovelta

Kuvassa 7 on summittainen pohjapiirros kiviaineslaboratoriosta. Kuvassa olevat numerot 1 - 9 merkitsevät ovia, pöytiä sekä muita kohteita ja roomalaiset numerot I - VI merkitsevät mittauspaikkoja. Taulukossa 2 on kerrottu Kuvan 7 merkintöjen selitykset.



**Kuva 7** Kiviaineslaboratorion pohjapiirros ja mittausjärjestelyt

**Taulukko 2** Kuvan 7 merkintöjen selitykset

1.	Ovi käytävään	6.	Soravarastot, ovella suljettavat
2.	Avoinna oleva ovi betonilaboratorioon	7.	Opiskelijoiden työpöytä, jolla ei soran käsittelyä
3.	Seulontahuone	8.	Työpöydät, joilla sorankäsittelyä
4.	Kaksi seulontayksikköä kohdeilmanpoistolla	9.	Opettajan työpöytä
5.	Lämpökaapit		

Kuvassa 8 on valokuva luokkatilassa olevasta sorasäiliöstä. Eri soralaaduille oli omat säiliönsä ja ne oli sijoitettu ikkunanpuoleiselle seinälle. Sorasäiliöt oli suljettavissa ovilla, ja ne olivat noin metrin korkeat ja noin puoli metriä leveät.



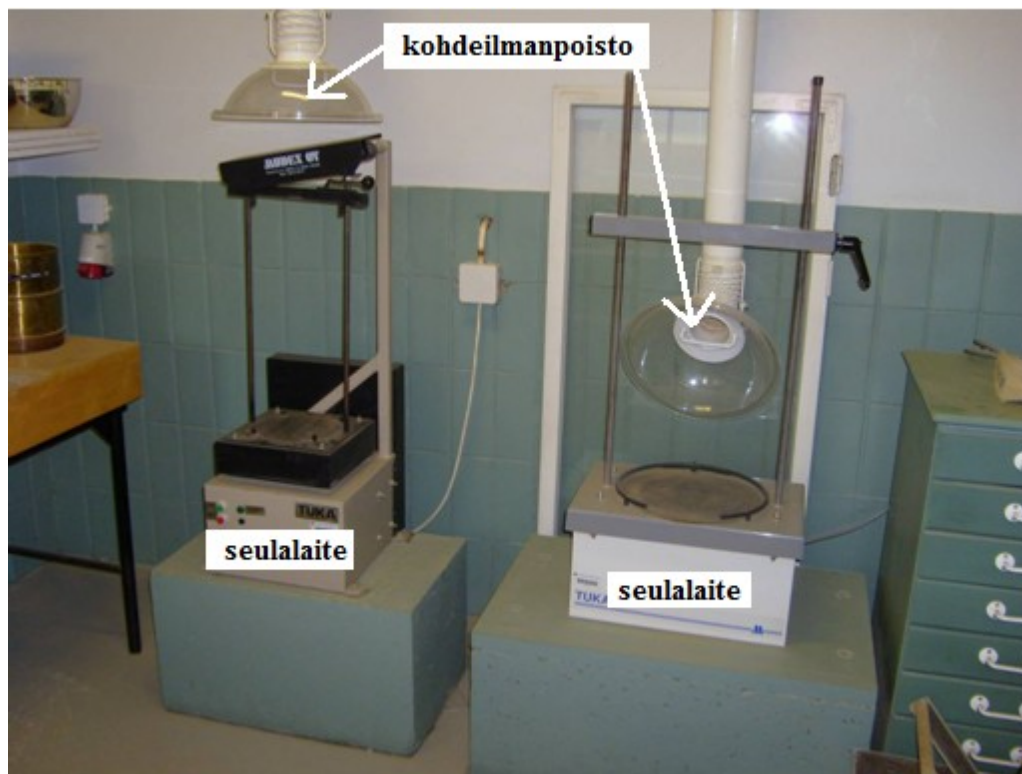
**Kuva 8** *Sorasäiliön ovi*

Seulontahuone oli eristetty muusta luokkatilasta omaan ovella suljettavaan tilaan.

Seulontahuoneessa oli kaksi seulontayksikköä omilla kohdeilmanpoistoilla.

Seulontahuoneen kohdeilmanpoisto ja betonilaboratorion betonimyllyn

kohdeilmanpoisto oli yhdistetty samaan erilliseen ilmastointilaitteeseen. Ilmastoinnin pystyi kytkemään päälle joko seulontahuoneeseen tai betonimyllylle. Kuvassa 9 on seulontahuoneen seulontayksiköt. Molemmille yksiköille on oma ilmanpoiston imupää, jonka sijaintia ja asentoa voidaan säätää.

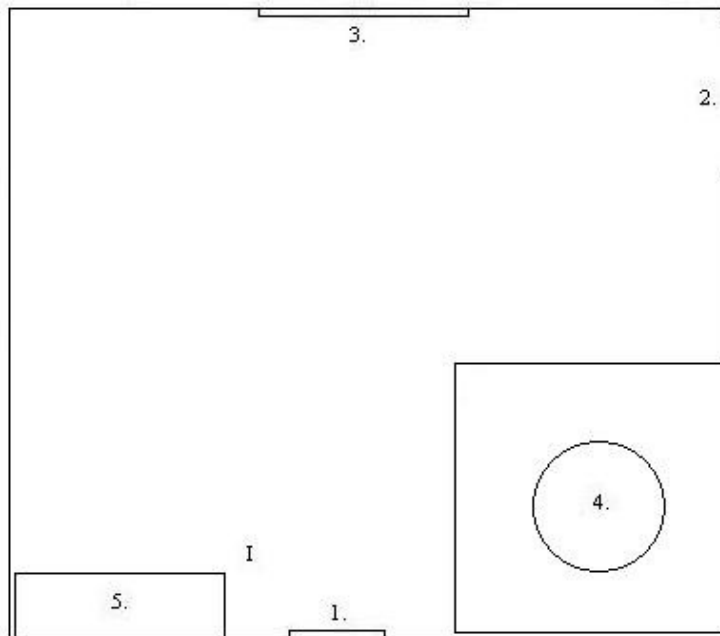


**Kuva 9** Seulontahuoneen seulat ja niiden kohdeilmanpoisto

Mittarilaitteet oli sijoitettu mittauksen aikana noin 1,1..1,3 m korkeudelle ja mittaus suoritettiin viidessä eri pisteessä luokkatilassa sekä yhdessä pisteessä seulontahuoneessa. Luokkatilassa olevat opiskelijat ja henkilökunta liikkuvat mittauksen aikana luokkatilassa, ja betonilaboratoriossa oleva ovi oli auki ulos osanaikaa tuntia, koska tilassa oli suhteellisen kuuma. Edelle mainitut seikat aiheuttivat ilmavirtoja, jotka vaihtelevasti heikensivät tai paransivat mittauspisteiden ilmanlaatua.

### **Betonilaboratorio 8.10.2009**

Toinen mittaus suoritettiin 8.10.2009 betonilaboratoriossa. Tilassa työskenteli noin 20 henkilöä mittauksen aikana ja osa henkilöistä oli välillä tauolla poissa tilasta. Mittauksen aikana tilassa valmisteltiin sankoihin ja saaveihin betoniin tulevat raaka-aineet ja tehtiin betonia isolla betonimyllyllä sekä lopuksi valettiin betoni muotteihin. Kuvassa 10 on summittainen pohjapiirros betonilaboratoriosta ja Taulukossa 3 Kuvan 10 merkintöjen selitykset. Roomalaisella numerolla I on merkitty mittauskohta tilassa.



**Kuva 10** Betonilaboratorion pohjapiirros ja mittausjärjestelyt

**Taulukko 3** Kuvan 10 merkintöjen selitykset

1.	Käytävään johtava ovi, avoinna mittauksen ajan
2.	Kiviaineslaboratorioon johtava ovi, avoinna
3.	Ulos johtava pariovi, avoinna suurimman osan aikaa mittauksesta
4.	Betonimylly ja sen yläpuolella kohdeilmanpoisto
5.	Välinekaappi, jossa kauhoja yms.

Kuvassa 11 on betonimylly ja sen yläpuolella kohdeilmanpoisto. Betonimyllyyn laitettavat raaka-aineet laitettiin myllyn yläreunassa olevan ritilän läpi. Ensimmäisenä myllyyn laitettiin vesi, joka esti betonin liian tarttumisen myllyn sisäpintoihin ja myös esti kuivien aineiden pöllyämisen niiden lisäämisen ja sekoittamisen aikana. Oppituntien opettajat Aarikka ja Orjala opastivat opiskelijoita raaka-aineiden lisäämisestä, jolloin välttyttiin aineiden roiskumiselta ja pöllyämiseltä luokkatilaan.





**Kuva 11** Betonilaboratorion betonimylly ja sen kohdeilmanpoisto

Kuvassa 12 on muotteja, joihin valmis betoni valettiin. Tässä vaiheessa märkinä oleva betoni ei aiheuttanut hiukkasia ilmaan. Valkoiset sangot ovat muottien öljyämistä varten, jotta betoni irtoaisi niistä helpommin kuivuttuaan.



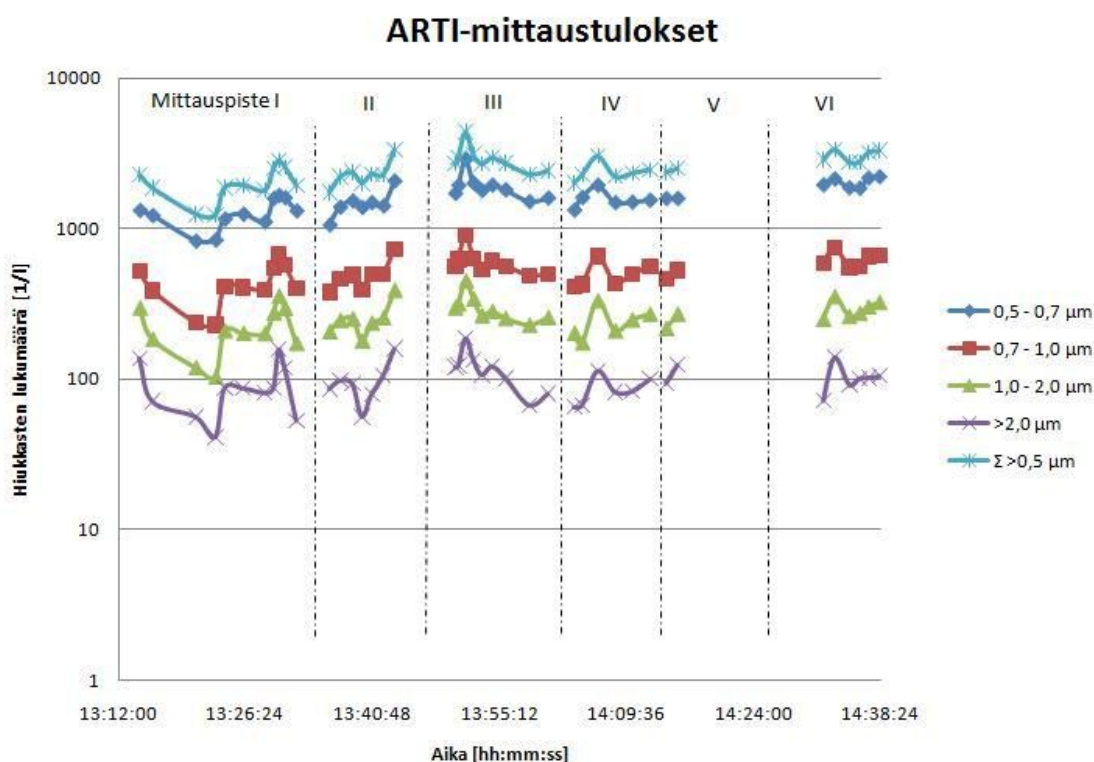
**Kuva 12** Betonimuotteja ja öljyämisvälineet

### 4.3 Mittausten tulokset ja analysointi

#### Kiviaineslaboratorio 17.9.2009

Kiviaineslaboratoriossa suoritettiin mittaukset kuudessa eri pisteessä tilan suuren koon takia. Vähiten mittausdataa kertyi mittauspisteessä IV seulontahuoneessa, koska ilmassa olleen näkyvän pölyn takia ARTI-mittaria ei voitu käyttää. Kuvassa 13 on ARTI:n tulokset graafisesti esitettynä Liitteen 1 pohjalta. Hiukkasten lukumäärä on logaritmisessa asteikossa.

Yli 10  $\mu\text{m}$  hiukkasia ei ollut suurimman osan aikaa mittauksia lainkaan, ainoastaan mittauspisteessä III ja IV löytyi yhtenä ajankohtana 6 tämän koko luokan hiukkasta. Tämän takia  $>2 \mu\text{m}$  hiukkaset on yhdistetty. Kaikki muut hiukkaskokoluokat pysyivät tasaisina, paitsi 0,5 – 0,7  $\mu\text{m}$  kokoisten hiukkasten määrä vaihteli suurimmin, käyden mittauspisteessä III lähellä 3000 1/l. Ylin kuvaajan viiva esittää hiukkasten yhteenslaskettua määrää.



Kuva 13 ARTI-mittalaitteen tulokset kiviaineslaboratoriossa

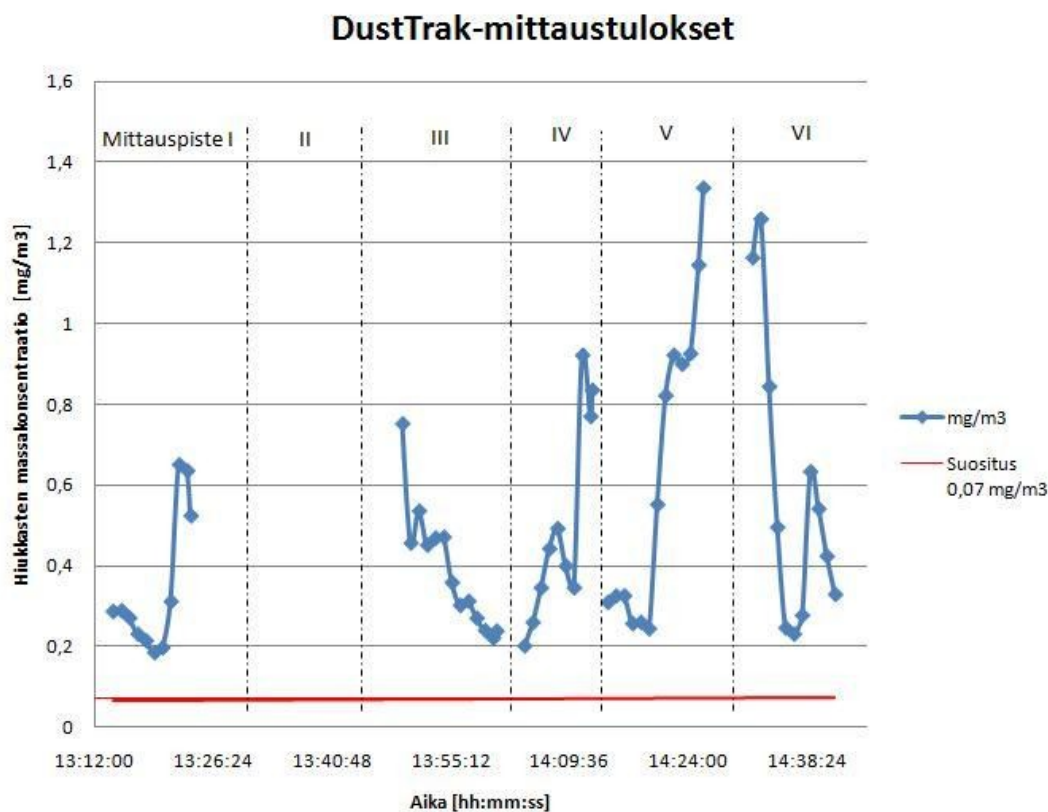


Taulokossa 4 on kiviaineslaboratorion lämpötilat ja ilman suhteelliset kosteudet mittauksen aikana eri mittauspisteissä. Lämpötila kohosi tilassa mittauksien aikana ja tilaa jouduttiin tuulettamaan pitämällä ulko-ovea auki välillä. Suhteellinen ilmankosteus pysyi tasaisena. Taulukossa on myöskin DustTrakilta saadut massakonsentraatioiden keski-, maksimi- ja minimiarvot. Mittauspisteen II tiedot puuttuvat tallennuksessa tapahtuneen virheen takia.

**Taulukko 4** Kiviaineslaboratorion mittausolosuhteet ja hiukkasten massakonsentraatiot

	Mittauspiste I	Mittausp. II	Mittausp. III	Mittausp. IV	Mittausp. V	Mittausp. VI
Lämpötila/°C	23,5	26,0	27,0	28,0	29,0	28,0
Suhteellinen ilmankosteus/%	44,0	42,0	41,0	40,0	40,0	40,0
Massakonsentraation keskiarvo/mg/m <sup>3</sup>	0,33	puuttuu	0,393	0,458	0,592	0,548
Massakonsentraatio max/mg/m <sup>3</sup>	1,42	puuttuu	1,308	1,429	7,11	8,048
Massakonsentraatio min/mg/m <sup>3</sup>	0,09	puuttuu	0,052	0,074	0,124	0,067

Kuvassa 14 on DustTrakin mittaustulokset kiviaineslaboratoriosta Liitteen 1 pohjalta. Tuloksista on nähtävissä ilmassa olevien hiukkasten massakonsentraation suuren vaihtelun mittauksen aikana. Tärkein huomio on sisätilan ilmalle annetun suositusrajan 0,07 mg/m<sup>3</sup> jatkuva ylitys. Suurimmat arvot olivat seulontahuoneessa, jossa oli hetkellisesti mittauspisteen II data valitettavasti menetettiin tallentamisessa tapahtuneen virheen takia.



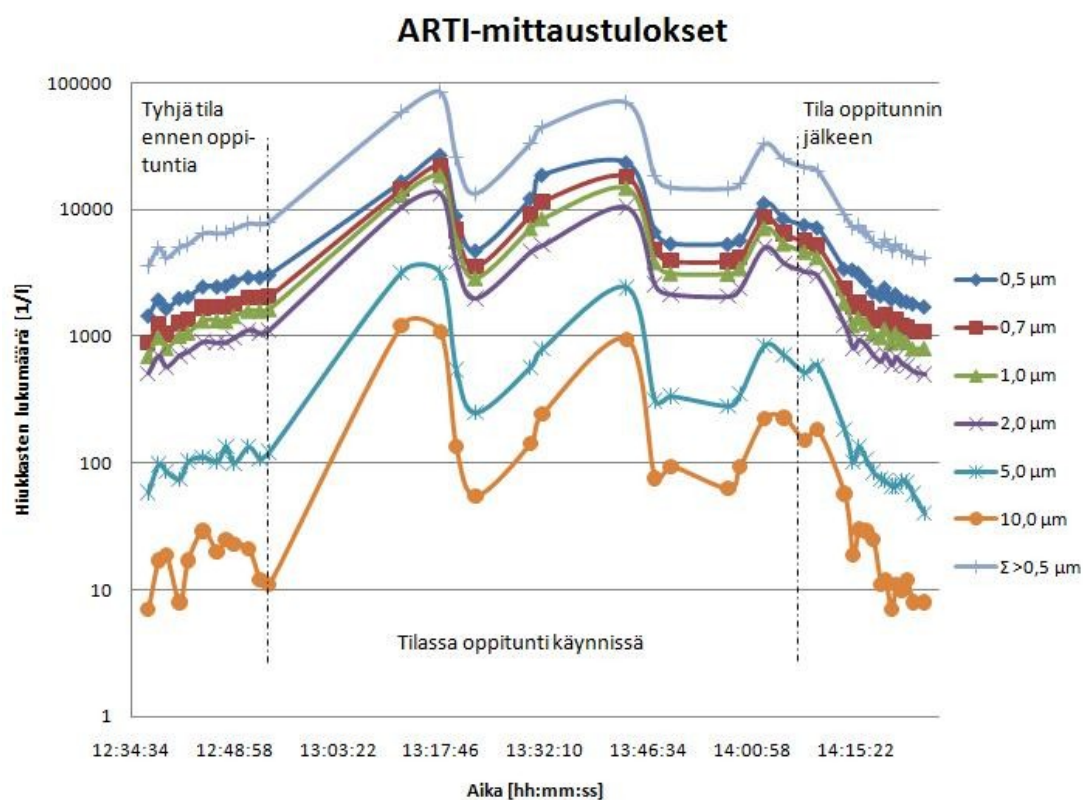
**Kuva 14** *DustTrak-mittarin tulokset kiviaineslaboratoriossa*

### **Betonilaboratorio 8.10.2009**

Betonilaboratoriossa mitattiin yhdessä pisteessä tilan pienen koon takia ja ettei olisi häiritty oppituntia. Kuvassa 15 on esitetty ARTI-mittarin tulokset graafisesti Liitteen 2 pohjalta. Hiukkasten lukumäärä on esitetty logaritmisessa asteikossa. Tilassa mitattiin vertailupohja ennen oppitunnin alkua. Hiukkasmäärän lievä nousu ennen varsinaista oppituntia johtui mittaajaan ilmaan nostamasta pölystä, vaikka tätä yritettiin välttää.

Oppitunnin alussa betoniin tulleet eri raaka-aineet punnittiin ja laitettiin valmiiksi sankoihin ja saaveihin. Tämä toimenpide aiheutti jonkin verran pölyä ilmaan, vaikka se suoritettiin myllyn kohdeilmanpoiston lähellä. Betonin valmistamisessa myllyssä ja varsinkin raaka-aineiden lisäämisen yhteydessä ilmaan vapautui paljon hiukkasia. Tilassa ollut ovi käytävälle oli oppitunnin ajan auki ja pariovi ulos oli suurimman osan aikaa oppitunnista auki. Tilaan syntynyt ristiveto vähensi ilmassa ollutta pölyä. Betonin muotteihin valun aikana ilman hiukkasmäärä alkoi laskea.

Henkilöiden poistuttua tilasta tunnin jälkeen, tilan hiukkasmäärä palautui melko nopeasti tuntia edeltäneelle tasolle. Pariovi ulos oli auki tunnin jälkeen tapahtuneen mittauksen aikana.



**Kuva 15** ARTI-mittarin tulokset betonilaboratoriossa

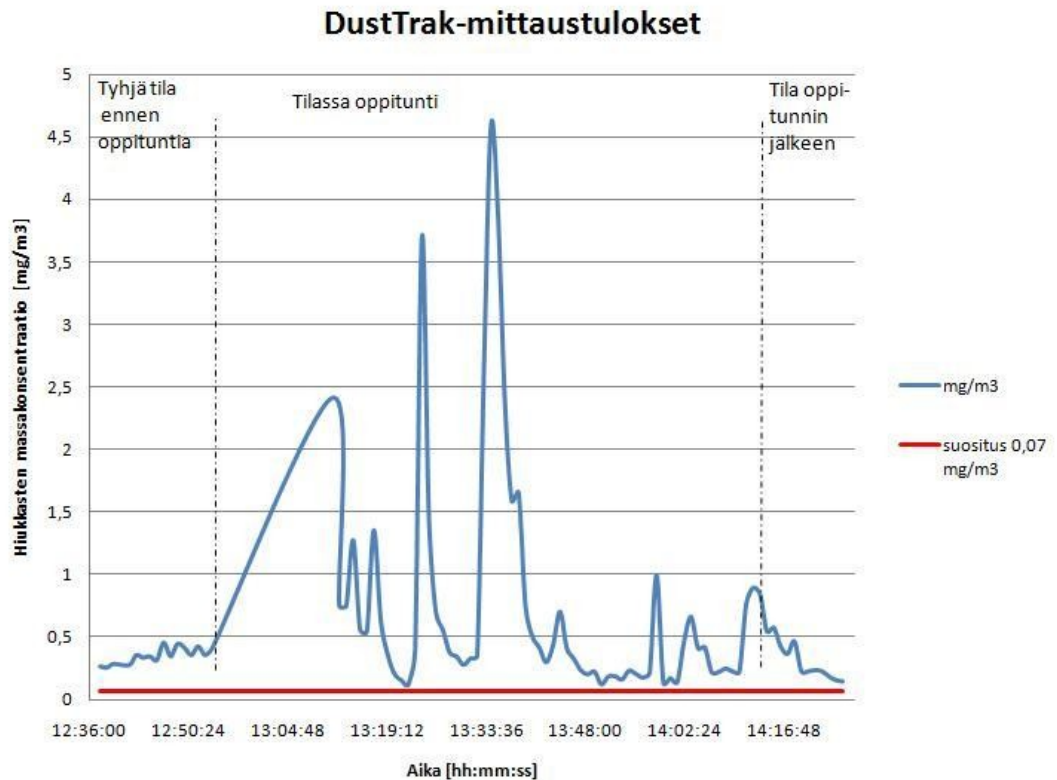
Taulukkoon 5 on kerätty betonilaboratorion lämpötilat ja suhteelliset ilmankosteudet mittauksen aikana. Taulukossa on myös DustTrak-mittarista saatujen tulosten keski-, maksimi ja minimiarvot. Tuloksista on hyvä huomata suositusrajan  $0,07 \text{ mg/m}^3$  ylittyminen. Oppitunnin aikana oli suurimmat hiukkasmäärät ja oppitunnin jälkeen arvot palasivat lähtötasoa paremmiksi ulos johtavan oven auki pitämisen takia.

**Taulukko 5** *Betonilaboratorion mittausolosuhteet ja hiukkasten massakonsentraatiot*

	Tila ennen oppituntia	Oppitunnin aikana	Oppitunnin jälkeen
Lämpötila/°C	24,0	23,5	21,0
Suhteellinen ilmankosteus/%	31,0	32,0	33,0
Massakonsentraation keskiarvo/mg/m <sup>3</sup>	0,35	0,75	0,31
Massakonsentraatio max/mg/m <sup>3</sup>	0,45	4,59	0,57
Massakonsentraatio min/mg/m <sup>3</sup>	0,25	0,11	0,14

Kuvassa 16 on DustTrak-mittarilla saadut tulokset graafisesti esitettynä Liitteen 2 pohjalta. Arvot olivat ennen oppituntia tasaiset ja lähtivät nopeasti kasvamaan oppitunnin alettua. Suurimmat piikit käyrään syntyivät, kun raaka-aineita mitattiin valmiiksi astioihin ja myöhemmin kun niitä lisättiin myllyyn. Oppitunnin loppuvaiheessa, kun märkä betoni valettiin muotteihin ja työvälineet pestiin, ilmassa olleet hiukkaset alkoivat vähetä.

Käytävään johtavan ja ulos johtavan oven välille syntynyt ristiveto vähensi tilan ilmassa ollutta pölyä. Tästä huolimatta arvot olivat korkeita ja ylittivät suositusrajan 0,07 mg/m<sup>3</sup>.



**Kuva 16** DustTrak-mittarin tulokset betonilaboratoriossa

#### 4.4 Keskustelut rakennuslaboratorion henkilökunnan kanssa

Aarikan, Orjalan ja Oravasaaren mukaan ilmastointilaitteiden huollon tehtävänjakoa pitäisi selkeyttää. Heidän mukaansa ei aina tiedä kehenkä minkäkin ongelman kanssa pitäisi olla yhteydessä. He myös painottivat, että rakennuslaboratorion tiloissa ilmastointilaitteet tarvitsevat usein huoltoa, kuten pölykeräimet on tyhjennettävä riittävän usein. Rakennuslaboratorion henkilökunta toivoisi myös käyttökoulutusta ilmastointilaitteisiin (Aarikka, Orjala, Oravasaari 2009.)

Tilojen ilmanvaihdon suunnittelussa pitää huomioida, että ilmavirrat kulkevat puhtaista tiloista likaisempia kohti, jottei pöly leviä väärään suuntaan (Aarikka, Orjala, Oravasaari 2009).

## 5 Parannusehdotukset

Mittaustulosten perusteella kiviaineslaboratoriossa ja betonilaboratoriossa oli huono ilmanlaatu, kun tiloissa oli toimintaa. Hiukkasmäärät ilmassa ylittivät suositukset.

Kiviaineslaboratoriossa seulontahuone oli hyvin eristetty muusta tilasta ja seulat varustettu kohdeilmanpoistolla. Tilaan johtavan oven kiinni pitäminen seulonnan ja seulan purkamisen ja täyttämisen aikana vähentäisi hiukkasten leviämistä.

Luokkatilassa kiviaineksen käsittelyn keskittäminen mahdollisuuksien mukaan tietylle hyvin ilmastoidulle alueelle vähentäisi hiukkasten koko tilaan leviämistä.

Sijoittamisessa on huomioitava tulo- ja poistoilman putkien sijainti.

Seulahuoneessa olevien seulojen kohdeilmanpoistossa ja betonimyllyn kohdeilmanpoistossa on hyvä huomioida hiukkasten luontainen kulkusuunta, eli ylhäältä alaspäin. Tämän takia imuaukko olisi hyvä sijoittaa mahdollisimman alas mahdollisuuksien mukaan, jolloin ilmastointilaitteelta ei tarvita niin suurta tehoa, kun hiukkasia ei tarvitse saada liikkumaan ilmavirran mukana ylöspäin.

Betonimyllyn ympärillä oleva kevytrakenteinen taiteseinäma auttaisi myllyn eristämistä muusta tilasta ja estäisi näin hiukkasten leviämisen. Seinämän voisi laittaa ympärille betoninsekoittamisen ajaksi ja sirtää syrjään, kun myllyä aletaan tyhjentää. Seinämä ei saa kuitenkaan haitata tai vaarantaa työskentelyä myllyllä.

Tiloissa työskentelevien henkilökohtaista hengityksen suojausta ei saisi myöskään unohtaa.

## Lähteet

- Aarikka, Hannu, Orjala Kati, Oravasaari, Jarno 2009. Keskustelut Rakennuslaboratorion henkilökunnan kanssa 17.9.2009 ja 8.10.2009
- Anttila, Pia (Ilmatieteen laitos), Haaparanta, Suvi (Hengitysliitto Heli), Kousa, Anu (YTV), Lahtinen, Tarja (Ympäristöministeriö), Salonen, Raimo (Kansanterveyslaitos) 2004. Hiukkasia ilmassa. Helsinki: Seepra/ Nykypaino Oy. [online]  
[http://www.fmi.fi/kuvat/Hiukkasiailmassa\\_LR\\_2.pdf](http://www.fmi.fi/kuvat/Hiukkasiailmassa_LR_2.pdf)
- DUSTTRAK™ II Aerosol Monitor, Theory of Operation, Application Note EXPMN-001. [viitattu 31.8.2009] [online].  
[http://tsi.com/uploadedFiles/Product\\_Information/Literature/Application\\_Notes/EXPMN-001\\_DustTrakII\\_Theory\\_of\\_Operation.pdf](http://tsi.com/uploadedFiles/Product_Information/Literature/Application_Notes/EXPMN-001_DustTrakII_Theory_of_Operation.pdf)
- D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö.
- HTP- arvot 2007 2007. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki. [6.8.2009] [online]  
[http://www.stm.fi/julkaisut/nayta/\\_julkaisu/1056935](http://www.stm.fi/julkaisut/nayta/_julkaisu/1056935)
- Instruction manual, Hand Held Particle Counter KR-12A. RION CO. LTD. Japan.
- Kansainväliset kemikaalikortit. [viitattu 6.8.2009] [online].  
<http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/>
- Ketsu, Kemian työsuojeluneuvottelukunta 2002. Ammoniakki, ehdotus HTP-arvoksi. [viitattu 6.8.2009] [online].  
[http://www.ketsu.net/http/pm\\_valmiit/ammoniakki.htm](http://www.ketsu.net/http/pm_valmiit/ammoniakki.htm)
- Käyttö- ja huolto-ohjeet, DustTrak, aerosolien mittaustilaite TSI 8520 1995. TSI Incorporated. USA.
- Lindroos, Kirsi, Tapaninen, Reino, Happonen, Heikki ym. Terveellisen ja turvallisen opiskelu ympäristön laadun arvioinnin perusteet perusopetusta varten, Taustamuistio 2002. Opetusministeriö. [online].  
[http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2002/liitteet/opm\\_478\\_27\\_02opisk\\_ymp\\_laatu.pdf?lang=fi](http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2002/liitteet/opm_478_27_02opisk_ymp_laatu.pdf?lang=fi)
- Multisilta, Teemu & Niittymäki, Sakari 2009. Yhteenveto Ilmanlaatu prosessisiivessä-projektista. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.
- Puhakka, Eija & Kärkkäinen, Jukka 1996. Terveellinen sisäilma. Jyväskylä: Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy.
- Pääkkönen, Rauno & Rantanen, Salme 1999. Työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten riskien arviointi ja hallinta. Jyväskylä: OMA Oy

- Riala, Riitta 2003. Työterveyslaitos, TTL. Rakennusterveys, Turvapakki, Betonipöly.[Viitattu 5.8.2009] [online].  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Rakennusterveys/Turvapakki/Betonipöly.htm>
- Riala, Riitta 2003. Työterveyslaitos, TTL. Rakennusterveys, Turvapakki, Kyllästetty puu. [viitattu 5.8.2009] [online].  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Rakennusterveys/Turvapakki/Kyllästetty+puu.htm>
- Riala, Riitta 2003. Työterveyslaitos, TTL. Rakennusterveys, Turvapakki, Puupöly. [viitattu 5.8.2009] [online].  
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Rakennusterveys/Turvapakki/Puupöly.htm>
- Riipinen, Ilona & Lehtipalo, Katrianne 2009. Hiukkastieto-sivusto. Hiukkasfoorumi; pien- ja nanohiukkasalan toimijoiden riippumaton ja puolueeton verkosto. Helsingin yliopisto. [viitattu 6.8.2009] [online]. <http://hiukkastieto.fi/>
- Ruotsalainen, Risto & Palomäki, Eero 2009. Sisäilmaopas, 7. painos. Allergia- ja astmaliitto
- Salonen, Raimo & Pennanen, Arto 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. Tekes. Helsinki: Libris Oy
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2008. Asumisterveysopas, toinen painos. Ympäristö ja terveys –lehti. Vammala: Vammalan kirjapaino
- Laki toimenpiteistä tupakoinnin vähentämiseksi 13.8.1976/693
- Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 9.8.2001/711



**Liite 1: Mittausdata 17.9.2009 kiviaineslaboratoriossa****ARTI:n mittaustulokset****Taulukko 1 Mittauspiste I**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
13:14:23	1323	524	299	137	1	0	22	46
13:15:50	1226	387	185	66	4	1	22	46
13:20:44	833	238	119	54	2	0	23	45
13:22:58	848	229	103	40	1	0	23	44
13:24:01	1164	410	210	86	1	0	23	44
13:26:07	1253	407	202	84	2	1	24	44
13:28:34	1113	393	201	78	2	1	24	43
13:29:34	1591	545	277	87	0	0	24	43
13:30:09	1659	670	360	156	2	0	24	43
13:30:50	1603	571	298	119	0	0	25	43
13:32:09	1314	401	173	53	0	0	25	43

**Taulukko 2 Mittauspiste II**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
13:35:54	1063	378	207	85	1	0	25	42
13:37:06	1393	465	247	97	1	0	25	42
13:38:31	1528	491	253	92	1	0	26	42
13:39:35	1386	391	180	56	0	0	26	42
13:40:40	1489	499	237	79	0	0	26	42
13:42:00	1417	501	257	106	0	0	26	42
13:43:15	2064	728	393	157	2	1	26	42

**Taulukko 3 Mittauspiste III**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
13:50:08	1711	559	300	120	0	0	27	41
13:50:30	1930	622	317	117	6	0	27	41
13:51:20	2860	903	454	182	6	0	27	41
13:52:13	1997	630	343	132	3	0	27	41
13:53:09	1787	538	266	106	1	0	27	41
13:54:20	1941	608	283	121	1	0	27	41
13:55:50	1808	564	255	102	0	0	27	40
13:58:32	1513	486	229	66	1	0	27	40
14:00:40	1595	497	257	80	0	0	28	41

**Taulukko 4 Mittauspiste IV**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
14:03:38	1331	413	203	64	1	0	28	40
14:04:33	1611	426	174	67	0	0	28	40
14:06:18	1935	655	334	113	1	0	28	40
14:08:16	1490	433	210	79	3	0	28	40
14:10:12	1500	500	249	83	0	0	28	40
14:12:12	1544	556	271	100	0	0	28	40

**Taulukko 5 Mittauspiste V**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
14:14:03	1586	463	218	91	3	0	29	40
14:15:21	1587	529	271	121	4	0	29	40

**Taulukko 6 Mittauspiste VI**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
14:31:52	1948	586	251	72	0	0	28	40
14:33:09	2127	743	355	139	1	0	28	40
14:34:48	1863	552	262	92	0	0	28	40
14:35:59	1852	556	275	101	0	0	28	40
14:36:58	2159	652	304	102	0	0	28	40
14:38:13	2201	666	325	104	1	0	28	40

**DustTrakin mittaustulokset****Taulukko 7 Mittauspiste I**

Aika/hh:mm:ss	Massakonsentraatio/ mg/m <sup>3</sup>
13:14:16	0,2868
13:15:16	0,2889
13:16:16	0,2707
13:17:16	0,2307
13:18:16	0,2141
13:19:16	0,1846
13:20:16	0,1971
13:21:16	0,3114
13:22:16	0,6507
13:23:16	0,6353
13:23:41	0,5239

**Taulukko 8 Mittauspiste III**

Aika/hh:m m:ss	Massakonsentra tio/ $\text{mg/m}^3$
13:49:20	0,7520
13:50:20	0,4563
13:51:20	0,5358
13:52:20	0,4512
13:53:20	0,4689
13:54:20	0,4710
13:55:20	0,3584
13:56:20	0,3021
13:57:20	0,3125
13:58:20	0,2701
13:59:20	0,2397
14:00:20	0,2206
14:00:44	0,2384

**Taulukko 9 Mittauspiste IV**

Aika/hh:mm :ss	Massakonsentra tio/ $\text{mg/m}^3$
14:04:07	0,2014
14:05:07	0,2597
14:06:07	0,3453
14:07:07	0,4423
14:08:07	0,4922
14:09:07	0,3992
14:10:07	0,3457
14:11:07	0,9214
14:12:07	0,7700
14:12:20	0,8351

**Taulukko 10** *Mittauspiste V*

Aika/hh:mm:ss	Massakonsentraatio/ <sup>3</sup> mg/m
14:14:12	0,3093
14:15:12	0,3253
14:16:12	0,3257
14:17:12	0,2569
14:18:12	0,2602
14:19:12	0,2440
14:20:12	0,5519
14:21:12	0,8214
14:22:12	0,9220
14:23:12	0,8993
14:24:12	0,9259
14:25:12	1,1451
14:25:46	1,3363

**Taulukko 11** *Mittauspiste VI*

Aika/hh:mm:ss	Massakonsentraatio <sup>3</sup> / mg/m
14:31:45	1,1630
14:32:45	1,2590
14:33:45	0,8439
14:34:45	0,4951
14:35:45	0,2457
14:36:45	0,2307
14:37:45	0,2770
14:38:45	0,6331
14:39:45	0,5411
14:40:45	0,4236
14:41:45	0,3291

**Liite 2: Mittausdata 8.10.2009 betonilaboratoriossa****ARTI:n mittaustulokset****Taulukko 1 Tyhjä tila ennen oppituntia**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
12:36:54	1439	891	694	509	59	7	24	30
12:38:19	1927	1261	983	700	98	17	24	31
12:39:24	1644	1039	805	572	86	19	24	32
12:41:14	1972	1265	1002	705	75	8	24	31
12:42:25	2020	1355	1061	754	103	17	24	32
12:44:30	2440	1682	1321	901	112	29	24	31
12:46:28	2435	1696	1335	886	103	20	24	31
12:47:42	2473	1697	1311	899	136	25	24	31
12:48:47	2701	1791	1434	964	100	23	24	31
12:50:50	2895	2014	1582	1124	134	21	24	31
12:52:26	2889	2012	1584	1057	108	12	24	31
12:53:43	3034	2085	1630	1123	123	11	25	31

**Taulukko 2 Tilassa oppitunti**

Aika/hh:mm:ss	1/1 [0,5 - 0,7 µm]	1/1 [0,7 - 1,0 µm]	1/1 [1,0 - 2,0 µm]	1/1 [2,0 - 5,0 µm]	1/1 [5,0 - 10,0 µm]	1/1 [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
13:12:06	16395	14546	13021	10576	3195	1216	24	33
13:17:30	26645	22005	18530	13547	3143	1086	23	32
13:19:41	8804	6864	5594	3884	547	135	22	32
13:22:24	4694	3561	2861	1995	250	55	23	29
13:30:02	12085	9060	7092	4664	573	143	22	31
13:31:39	18552	11644	8453	5232	794	243	22	32
13:43:22	23237	18173	14809	10482	2425	950	23	32
13:47:17	6591	4874	3828	2551	311	76	22	31
13:49:33	5327	3951	3118	2145	337	94	22	31
13:57:29	5278	3898	3098	2061	282	63	22	31
13:59:11	5675	4210	3425	2387	352	94	22	32
14:02:32	11111	8674	7113	5044	843	224	22	32
14:05:15	8378	6468	5345	3782	709	228	22	32
14:08:08	7471	5647	4621	3249	517	151	22	32
14:09:55	7129	5196	4178	2990	589	183	22	32
14:13:40	3373	2375	1828	1236	184	57	21	32

**Taulukko 3** *Tila oppitunnin jälkeen*

Aika/hh:mm:ss	1/l [0,5 - 0,7 µm]	1/l [0,7 - 1,0 µm]	1/l [1,0 - 2,0 µm]	1/l [2,0 - 5,0 µm]	1/l [5,0 - 10,0 µm]	1/l [> 10,0 µm]	t/°C	Suhteellinen kosteus/ %
14:14:50	3315	1711	1218	807	102	19	21	33
14:15:39	3123	1826	1391	932	136	30	21	34
14:16:41	2706	1662	1264	844	107	29	21	33
14:17:40	2210	1385	1049	705	85	25	21	32
14:18:45	2077	1333	980	633	75	11	21	33
14:19:18	2390	1492	1138	723	73	12	21	34
14:20:14	1945	1219	885	594	66	7	21	33
14:20:49	2121	1371	1053	685	66	11	21	34
14:21:38	1887	1214	936	603	72	10	21	33
14:22:21	1865	1190	896	582	71	12	21	33
14:23:13	1786	1089	794	526	57	8	20	33
14:24:49	1694	1082	801	499	40	8	21	31

**DustTrakin mittaustulokset****Taulukko 4** *Tyhjä tila ennen oppituntia*

Aika/hh:mm:ss	Massakonsentraatio/ mg/m <sup>3</sup>
12:37:27	0,2600
12:38:27	0,2500
12:39:27	0,2800
12:41:41	0,2700
12:42:41	0,3500
12:43:41	0,3300
12:44:41	0,3400
12:45:41	0,3100
12:46:41	0,4500
12:47:41	0,3400
12:48:41	0,4400
12:49:41	0,4100
12:50:41	0,3500
12:51:41	0,4200
12:52:41	0,3500
12:53:41	0,4000

**Taulukko 5** *Tilassa oppitunti*

Aika/hh:mm:ss	Massakonsentraatio/ mg/m <sup>3</sup>
13:11:09	2,4100
13:12:09	0,7470
13:13:09	0,7410
13:14:09	1,2690
13:15:09	0,5530
13:16:09	0,5380
13:17:09	1,3500
13:18:09	0,6340
13:19:09	0,3570
13:20:09	0,2010
13:21:09	0,1480
13:22:09	0,1140
13:23:09	0,3880
13:24:09	3,7030
13:25:09	1,4370
13:26:09	0,6940
13:27:09	0,5540
13:28:09	0,3720
13:29:09	0,3390
13:30:09	0,2720
13:31:09	0,3230
13:32:09	0,3450
13:33:09	2,6910
13:34:09	4,5900
13:35:09	3,9040
13:36:09	2,3960
13:37:09	1,5830
13:38:09	1,6500
13:39:09	0,7370
13:40:09	0,4970
13:41:09	0,4100
13:42:09	0,2940
13:43:09	0,4310
13:44:09	0,6970
13:45:09	0,4030
13:46:09	0,3220
13:47:09	0,2300
13:48:09	0,1960
13:49:09	0,2180
13:50:09	0,1160
13:51:09	0,1780
13:52:09	0,1810
13:53:09	0,1540
13:54:09	0,2250
13:55:09	0,2000
13:56:09	0,1700

13:57:09	0,2100
13:58:09	0,9900
13:59:09	0,1250
14:00:09	0,1660
14:01:09	0,1330
14:02:09	0,4610
14:03:09	0,6570
14:04:09	0,4060
14:05:09	0,4120
14:06:09	0,2130
14:07:09	0,2150
14:08:09	0,2420
14:09:09	0,2210
14:10:09	0,2150
14:11:09	0,7600
14:12:09	0,8900
14:13:09	0,8400

**Taulukko 6** *Tila oppitunnin jälkeen*

Aika/hh:mm:ss	Massakonsentraatio/ <sup>3</sup> mg/m
14:14:09	0,5400
14:15:09	0,5700
14:16:09	0,4200
14:17:09	0,3600
14:18:09	0,4600
14:19:09	0,2200
14:20:09	0,2200
14:21:09	0,2300
14:22:09	0,2200
14:23:09	0,1800
14:24:09	0,1500
14:25:09	0,1400